

Ciclo de Seminarios 2004
Unidad Suelos y Riegos
Laboratorio de Agronomía Y
Medio Ambiente (DGA-CSIC)

**Calidad del Agua y Estabilidad
Estructural de Suelos**

Ramón Aragüés
Enero 2004



**Departamento de Ciencia,
Tecnología y Universidad**

CALIDAD DEL AGUA PARA RIEGO (FAO)

EFFECTOS	MECANISMOS	VARIABLES
<u>Sobre los suelos</u> (conductividad hidraulica, infiltración)	Dispersión Hinchamiento Desagregación	CE, RAS, pH mineralogía suelos, materia orgánica...
<u>Sobre las plantas</u> - Descenso rendimiento	Descenso Ψ osmótico \Rightarrow Consumo de energía	CE, FL, clima, tolerancia cultivos..
- Riego por aspersión	Absorción iónica foliar \Rightarrow desórdenes fisiológicos y bioquímicos	CE, iones, clima, morfología hoja, manejo del riego...
- Toxicidad iónica específica	Desórdenes fisiológicos y bioquímicos	Cl, Na, B, elementos traza...
- Desbalances nutricionales	Desórdenes fisiológicos y bioquímicos	N, P, Cl-NO ₃ , Na vs. K, Zn, Mn y Ca...

ESTRUCTURA Y ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE LOS SUELOS

- **Estructura**: Organización y disposición de las partículas del suelo en unidades secundarias de mayor tamaño (**agregados**), y organización y disposición de los huecos dejados por dichos agregados (**poros**).
- **Estabilidad estructural**: Capacidad del suelo para mantener intactos sus agregados frente a fuerzas destructivas (humectación, impacto de las gotas de agua, calidad del agua, erosión, laboreo, etc...)

ESQUEMA DE AGREGACIÓN DE LOS SUELOS

Partícula de arcilla

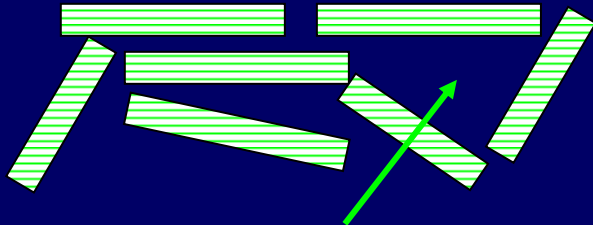


Cuasi-cristal o tactoide
(uniones cara-cara de entre 5 y 10 partículas de arcilla)



Dominio

(solapamiento de varios tactoides a través de uniones cara-cara, cara-borde y borde-borde)



porosidad entre tactoides o intra-dominios (2-5 nm. diámetro).
Flujo de agua despreciable



Asociación de redes de dominio

Microagregados
($< 250 \mu\text{m}$)

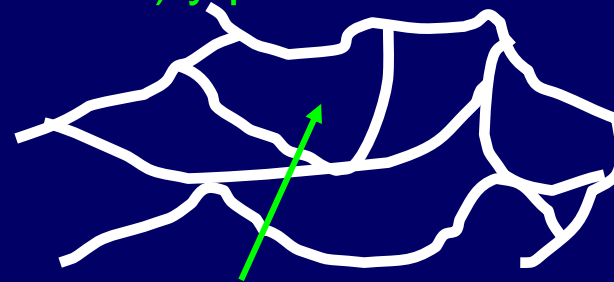
Macroagregados
($> 250 \mu\text{m}$)

- Poros-almacén (500 nm-50 μm): retienen el agua contra la gravedad; son poco conductores
- Poros conductores del agua ($> 50 \mu\text{m}$)



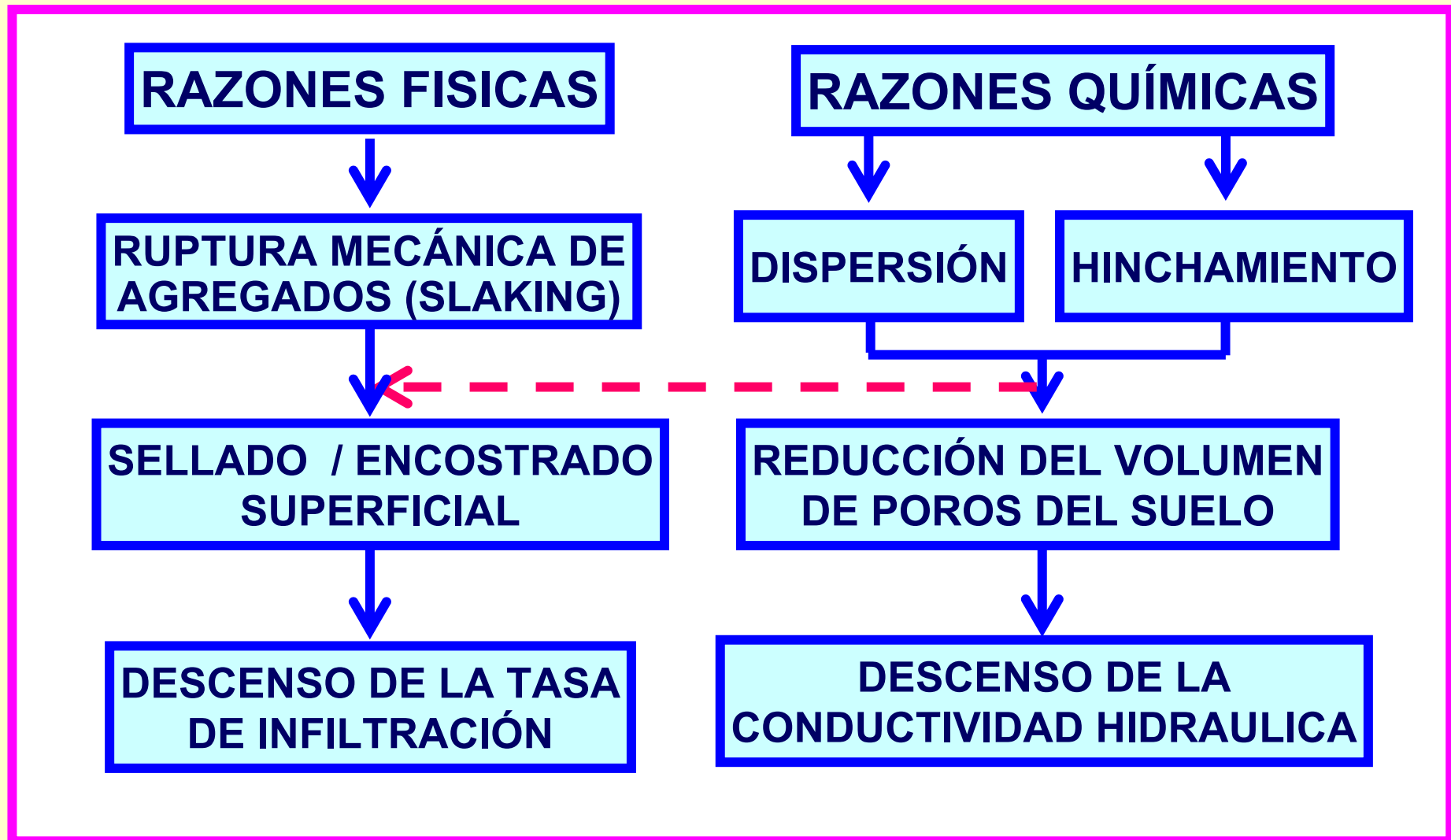
Red de dominios

(uniones a través de agentes cementantes (sesquióxidos, materia orgánica, carbonatos) y puentes entre dominios)



porosidad entre dominios (1-2 μm diam)
Flujo de agua muy bajo

¿Porqué se desestabilizan los suelos?



Efectos de la calidad del agua en los suelos:

1- ¿cuándo son relevantes?

2- ¿qué opciones de manejo existen?

1. La inestabilidad estructural de los suelos es relevante en:

- Aguas de muy baja salinidad.
- Suelos / aguas de elevada sodicidad.
- Suelos / aguas de elevado pH.
- Suelos con baja materia orgánica y elevado limo.
- Aplicaciones de agua de elevada intensidad.

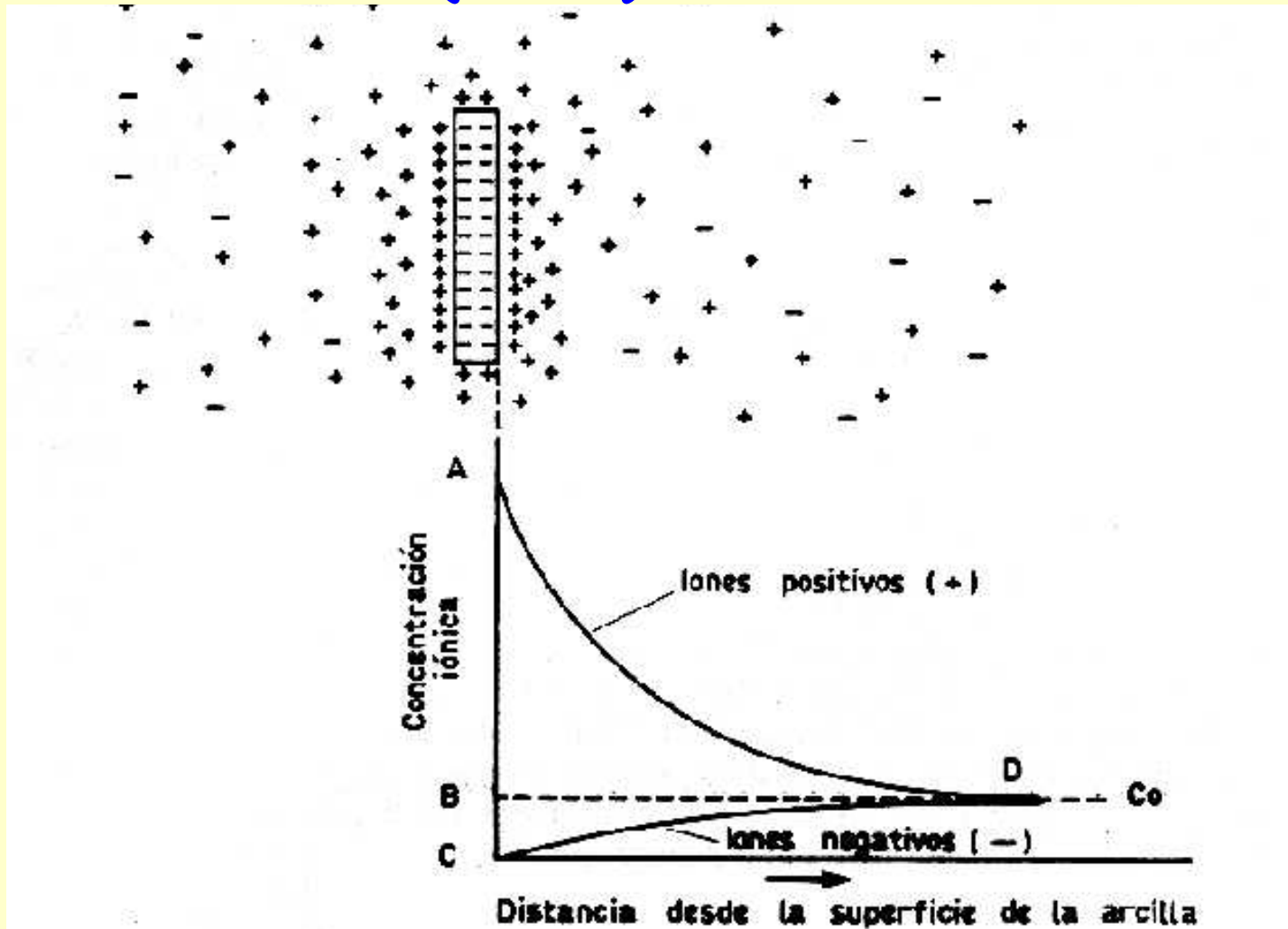
2. Opciones de manejo químicas, físicas y biológicas:

- Yeso, fosfoyeso, carboyeso, polímeros (PAM)...
- Laboreo superficial para romper la costra.
- Adición de residuos de cultivos (aumento de la MO).
- Uso de cultivos de cubierta temprana y acolchado superficial (intercepción del impacto cinético de las gotas de lluvia y aspersión).

Suelo encostrado que impide o limita la emergencia y el establecimiento del maíz



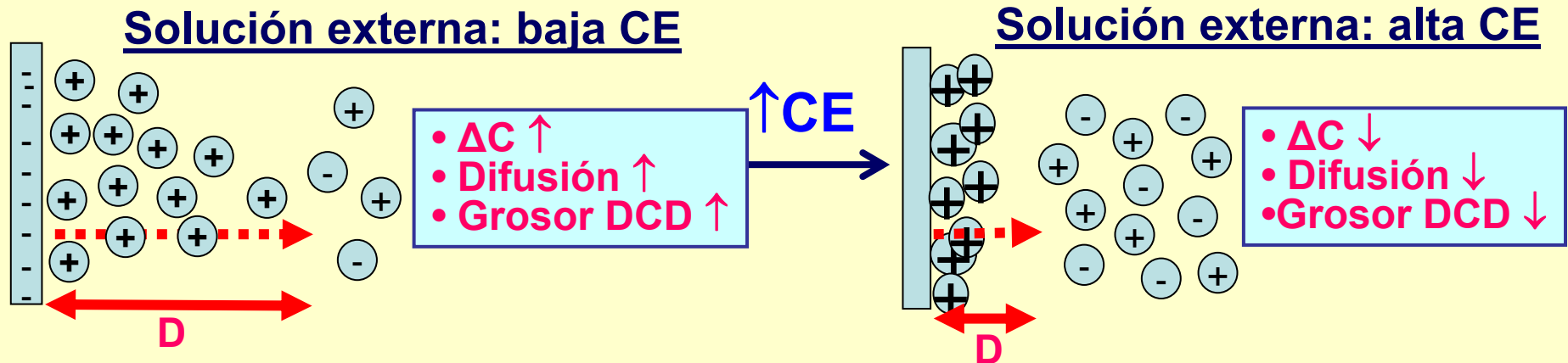
Modelo conceptual de la Doble Capa Difusa (DCD) de las arcillas



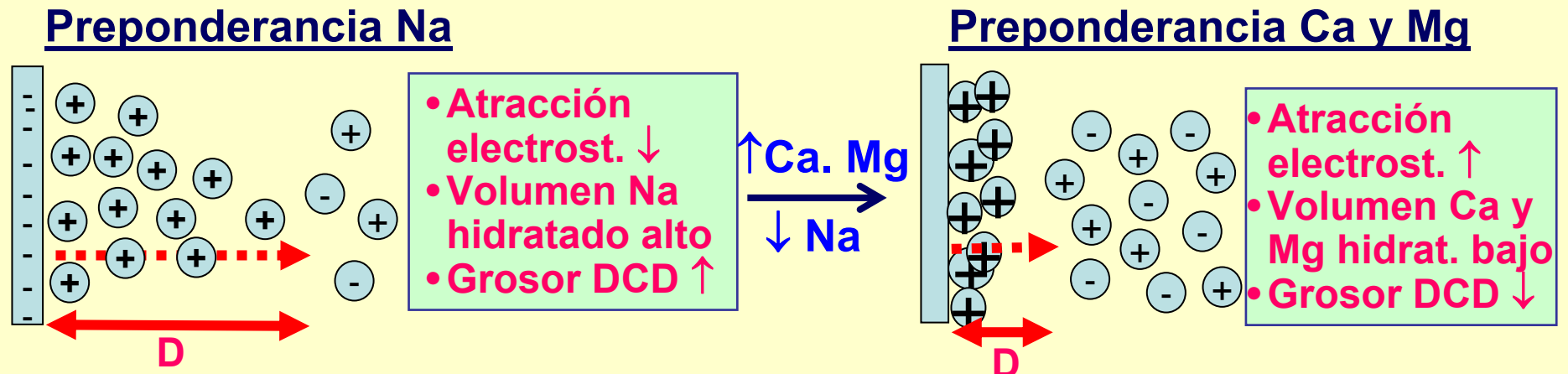
Grosor o extensión de la DCD: distancia (BD en la figura) desde la superficie de la arcilla hasta el punto donde $C_+ = C_- = C_0$ (C_0 = concentración de la solución externa a la DCD).

El grosor de la DCD disminuye:

(1) al aumentar la concentración de electrolitos en la solución del suelo (esto es, al aumentar la CE)

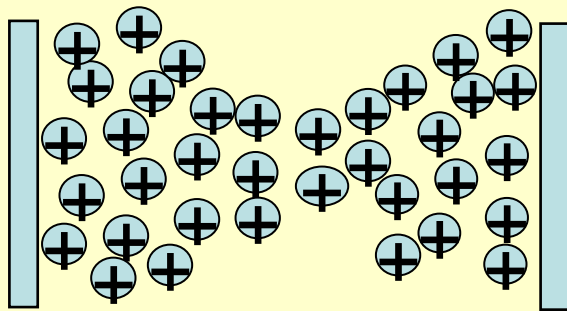


(2) al aumentar la valencia de los cationes (esto es, al aumentar Ca y Mg frente a Na \Rightarrow al disminuir la RAS)



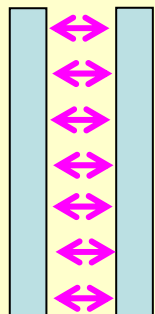
Fuerzas de interacción entre partículas de arcilla: Floculación-dispersión

- ✓ Cuando dos partículas de arcilla se aproximan entre sí, llega un momento en que las dobles capas difusas asociadas a cada partícula se solapan. Como estas dobles capas están cargadas positivamente, se produce una repulsión electrostática entre las partículas.

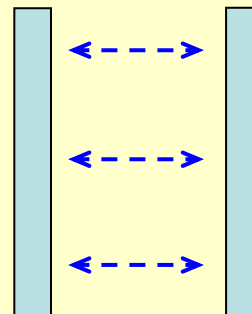


- Solapamiento DCDs \Rightarrow Repulsión electrostática.
- Solap. \uparrow conforme: a) \downarrow distancia entre partículas y b) \uparrow grosor DCD ($\Leftrightarrow \downarrow$ CE y \uparrow RAS).

- ✓ Cuando dos partículas de arcilla se aproximan entre sí, llega un momento en que ambas partículas se atraen debido a las fuerzas de van der Waals (vdW), que son de rango corto e independientes de la valencia y concentración del electrolito.



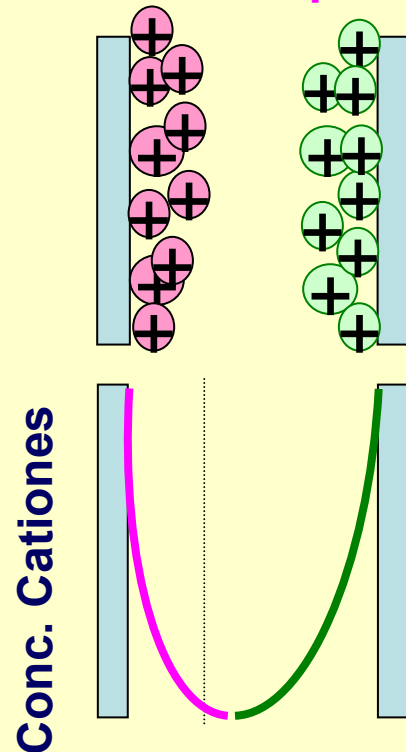
Partículas muy
próximas:
Fuerte ATRACCIÓN
por fuerzas de vdW



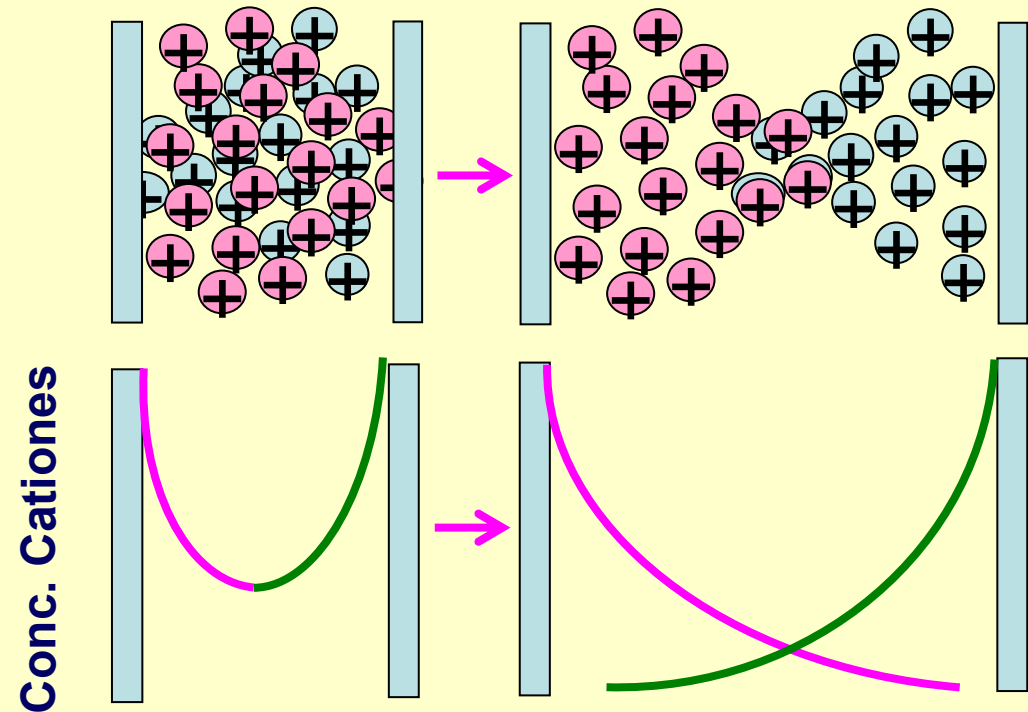
Partículas muy
separadas: debil o
nula ATRACCIÓN por
fuerzas de vdW

✓ Conforme más comprimidas estén las DCDs, más se podrán acercar las arcillas sin que exista solapamiento y, por lo tanto, repulsión \Rightarrow

1. Para DCDs comprimidas: atracción van der Waals $>$ repulsión DCDs



2. Para DCDs extensas: atracción van der Waals $<$ repulsión DCDs



No Solapamiento

- \Rightarrow No repulsión entre arcillas
- \Rightarrow Las arcillas pueden acercarse mucho entre si
- \Rightarrow Fuerzas de vdW operativas

Solapamiento

- \Rightarrow Repulsión entre arcillas
- \Rightarrow Las arcillas se separan entre si
- \Rightarrow Fuerzas de vdW no operativas

ATRACCIÓN > REPULSIÓN



Estado floculado o estable



Suelo agregado



Elevada estabilidad estructural

ATRACCIÓN < REPULSIÓN



Estado disperso o inestable



Suelo desagregado



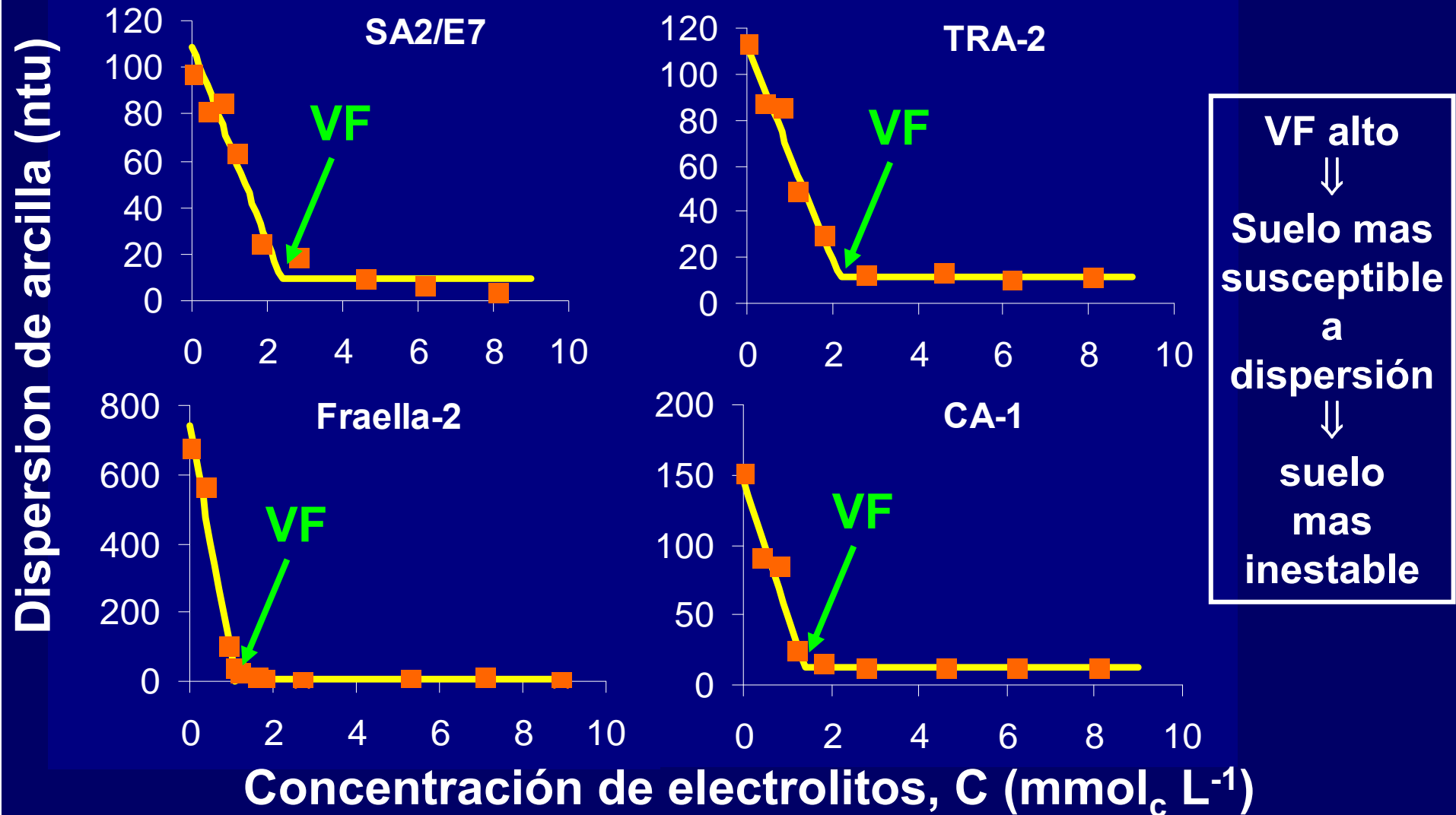
Baja estabilidad estructural

Conclusión

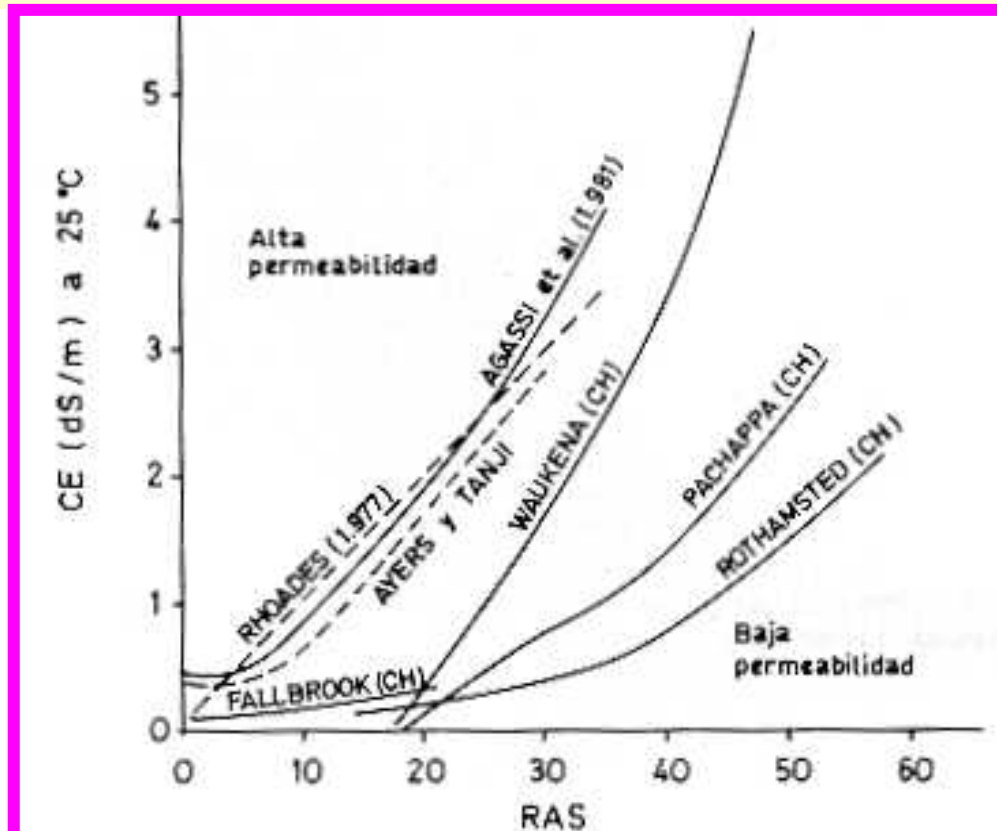
Un suelo es tanto más estable cuanto mayor es la concentración de sales (CE) y la valencia del electrolito (predominio de Ca sobre Na, ó baja RAS)

Efecto de la conc. sales en la dispersión de arcillas

Valor de floculación (VF): concentración mínima de sal por debajo de la cual dispersan las arcillas



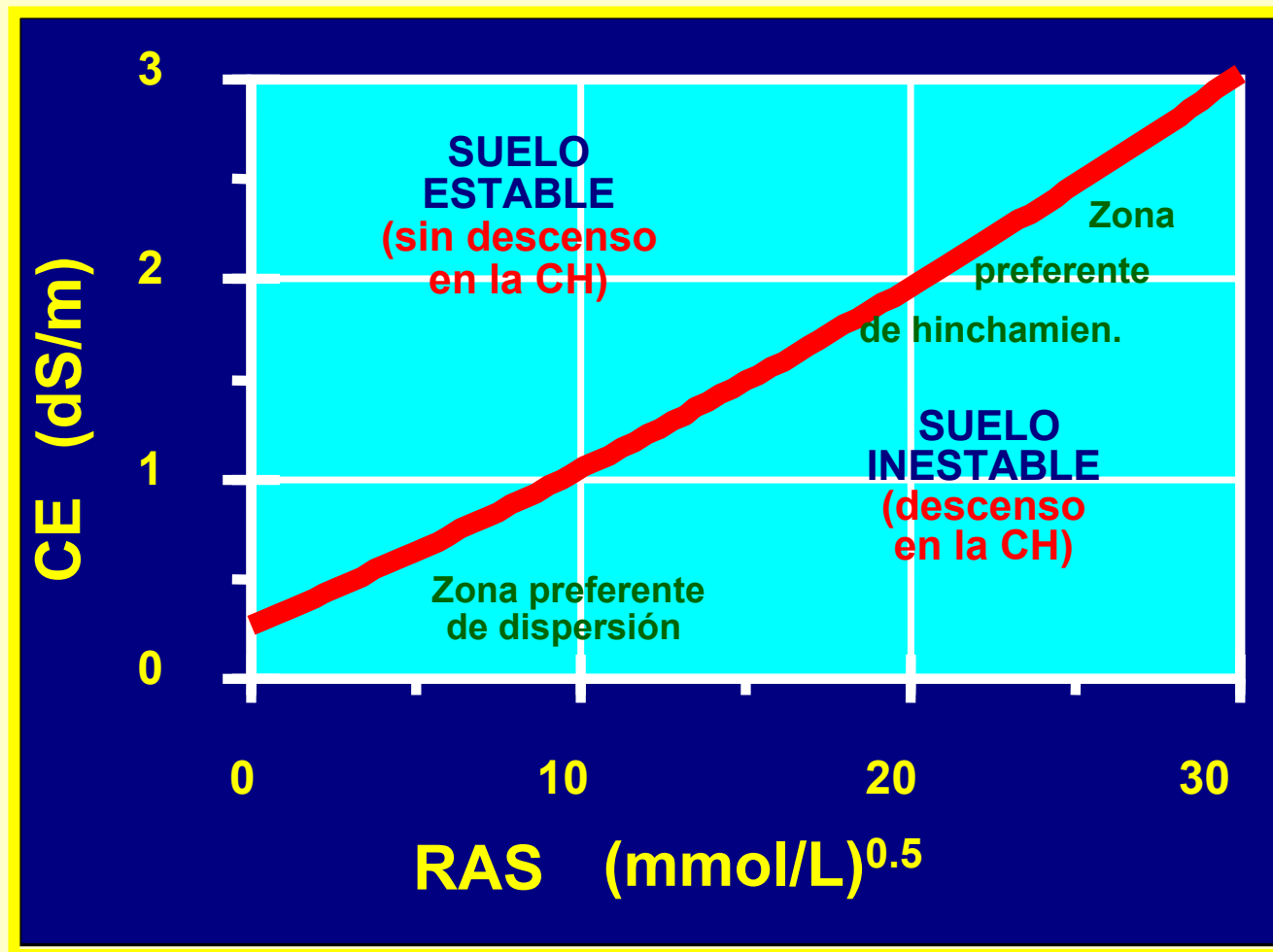
Curvas de estabilidad (o relaciones CE-RAS-estabilidad estructural)



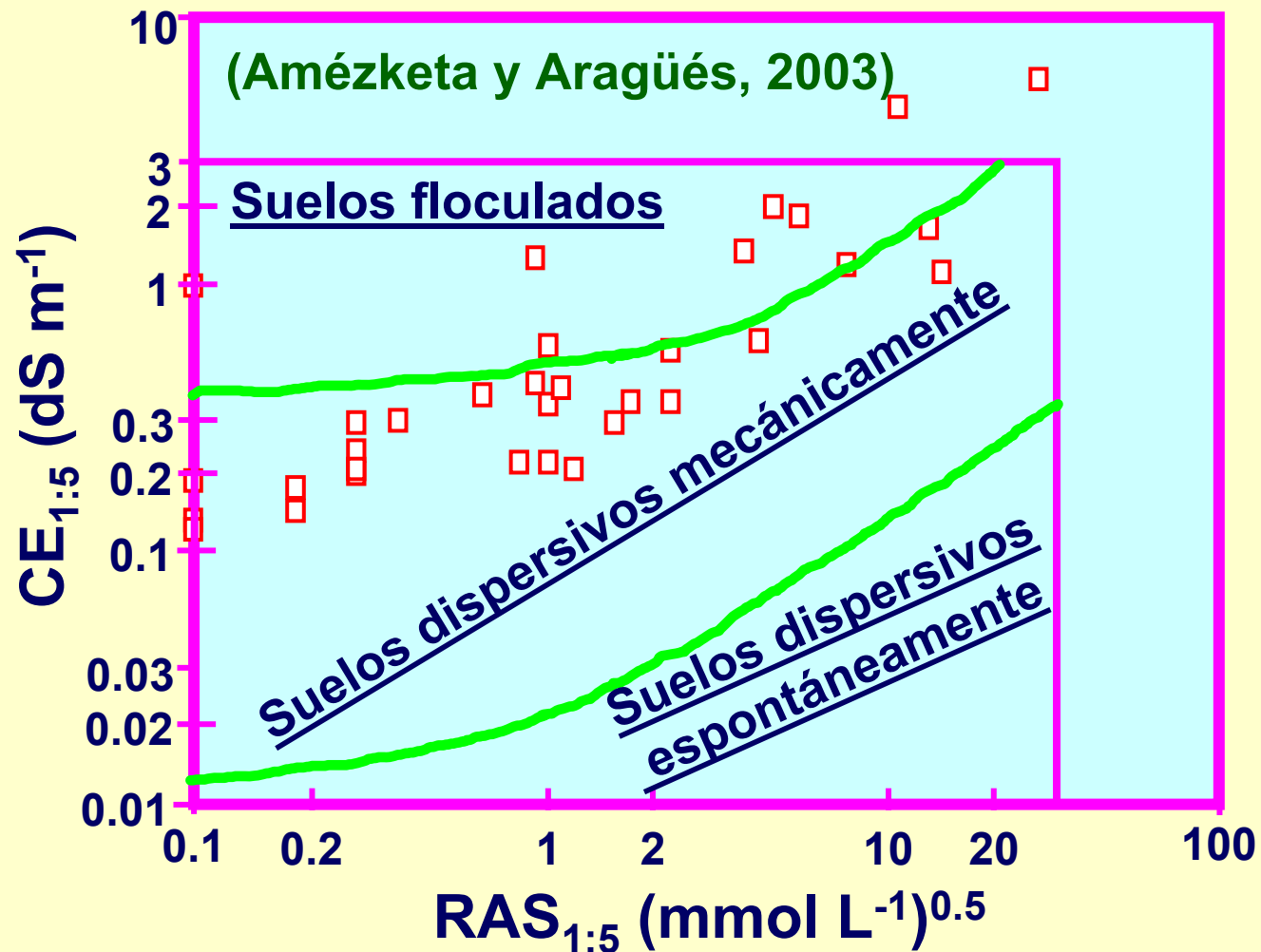
Combinaciones de CE- RAS que producen una reducción del 50% en la CH de los suelos (Shainberg y Letey, 1984)

- ✓ Estas combinaciones son diferentes para los distintos suelos.
- ✓ Esto demuestra:
 - la dificultad de generalizar el comportamiento de los suelos (es necesario determinar las curvas de estabilidad para cada suelo).
 - La existencia de otras variables que afectan a la estabilidad estructural de los suelos.

Curva de estabilidad estructural para la Conductividad Hidráulica (CH)

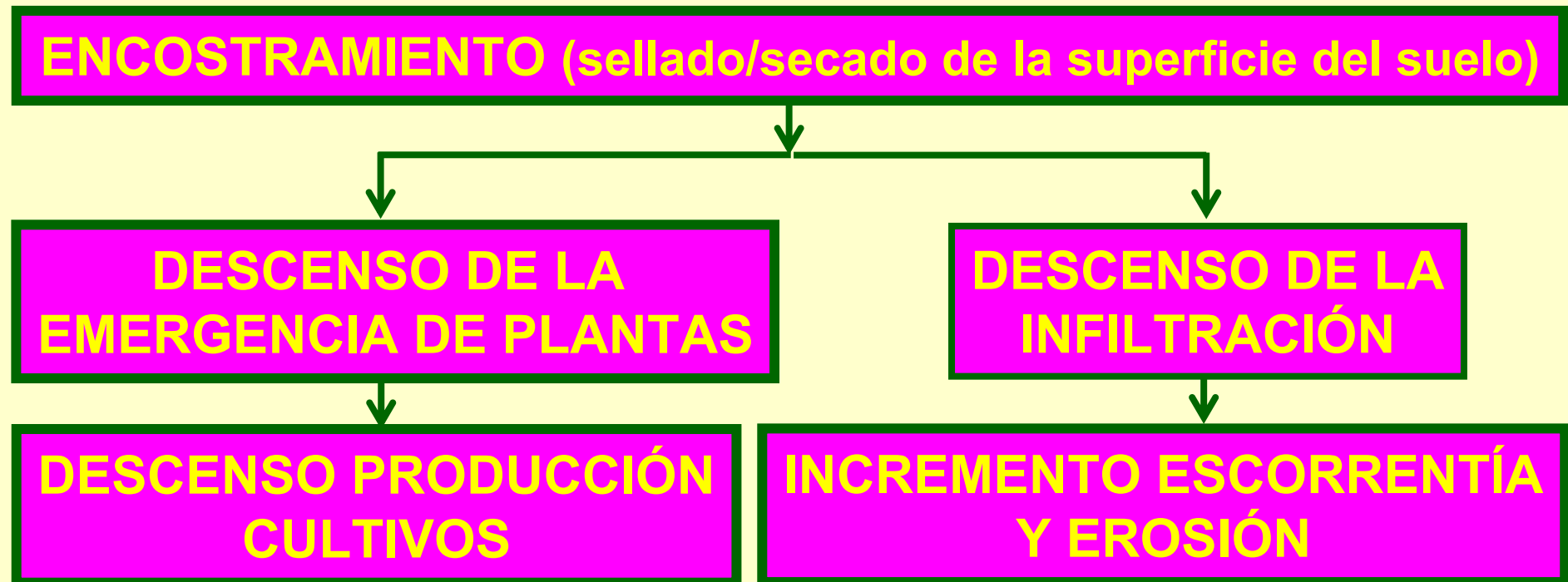


Esquema propuesto por Sumner et al. (1998) que describe las relaciones salinidad ($CE_{1:5}$) - sodicidad ($RAS_{1:5}$) - estabilidad estructural (floculación - dispersión). $CE_{1:5}$ y $RAS_{1:5}$ medidos en los sobrenadantes del test de dispersión mecánica. Las líneas verdes representan los umbrales $CE_{1:5}$ - $RAS_{1:5}$ que separan los suelos floculados y los dispersivos mecánica y espontáneamente.



Sobre este esquema se representan los 36 suelos estudiados de la cuenca media del Ebro en base a la $CE_{1:5}$ y $RAS_{1:5}$ medidos en los sobrenadantes del test de dispersión mecánica y a su estabilidad (floculación – dispersión).

Encostramiento de los suelos



TÉCNICAS PARA REDUCIR EL ENCOSTRAMIENTO DEL SUELO

MINIMIZAR LA
DISPERSIÓN FÍSICA

MINIMIZAR LA
DISPERSIÓN QUÍMICA

Interferir
mecánicamente
la formación
de la costra

Minimizar la
ruptura de los
agregados

Proteger los
agregados

Aumentar la
estabilidad de
los agregados

Aumentar la CE
hasta que
 $CE_{\text{suelo}} > VF$

Reducir la RAS
aumentando
el Ca soluble

- Modificar el sistema de riego (baja E_c)
- Laboreo de conservación

Acolchado
del suelo

- Añadir materia orgánica
- Abonados verdes

Acondiciona-
dores sintéticos

Enmiendas
químicas

Manejo de los suelos con tendencia al encarado

ENSAYO DE EMERGENCIA DEL MAIZ EN UN SUELO CON TENDENCIA AL ENCARADO: EFECTO BENEFICIOSO DE LA APLICACIÓN DE 5 T/HA DE YESO EN SUPERFICIE

Amézketa, Aragüés, Pérez, Bercero (2003)



Estabilidad estructural de los suelos

¿Cómo le afectan las siguientes variables?

1. Mineralogía de arcillas
2. pH
3. Óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al)
4. Salinidad (CE)
5. Sodicidad (RAS o PSC)
6. Magnesio (Mg)
7. Materia orgánica (MO)
8. Polímeros sintéticos
9. Sistemas de cultivo
10. Micro-organismos

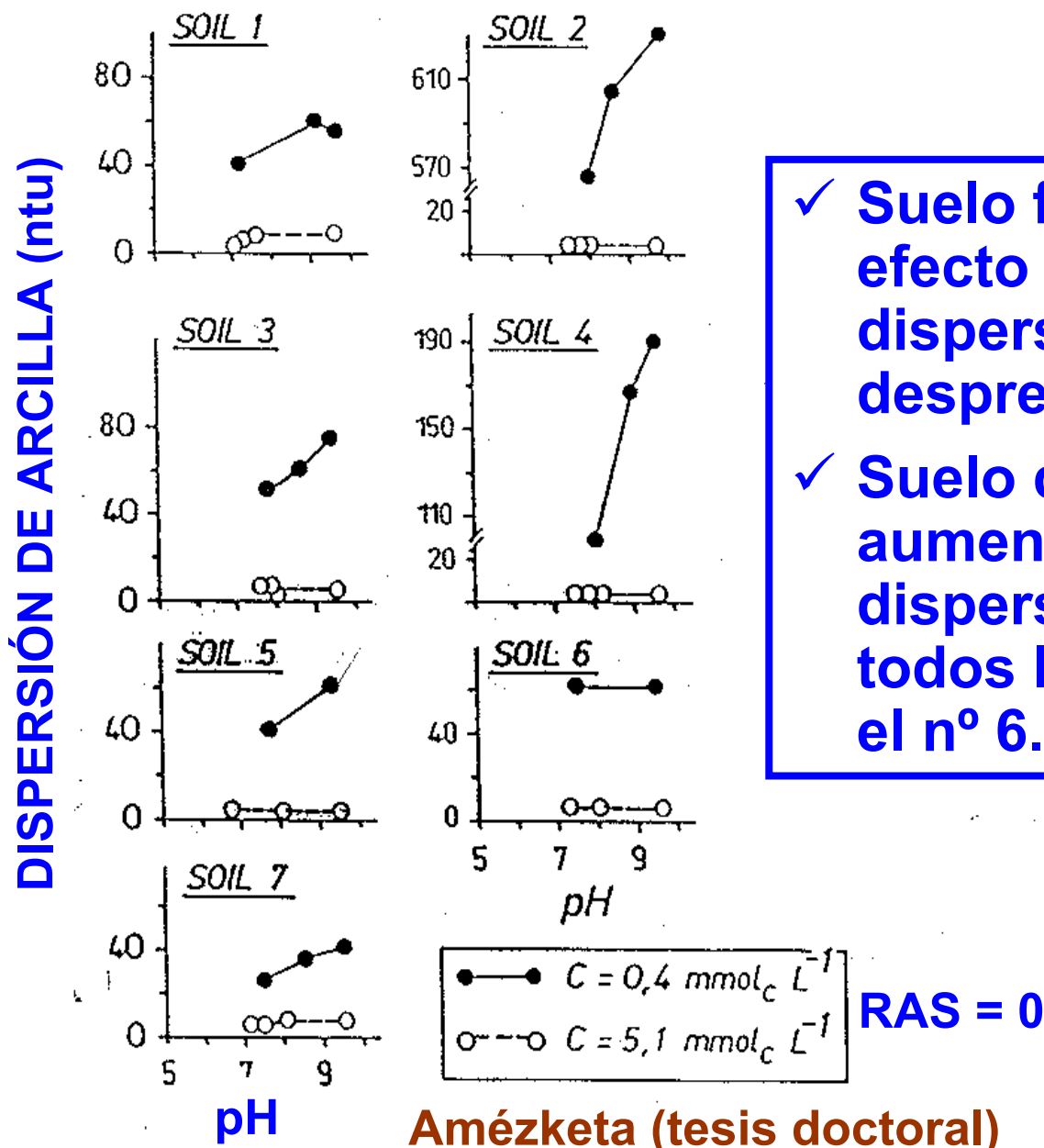
Veamos algunos ejemplos...

Efecto de la mineralogía de arcillas sobre la estabilidad estructural (Valor de Floculación VF, meq/L)

Arcilla	VF (meq/L) para RAS:			
	0	20	40	∞
Montmorillonita	0.25	6	9	12
Ilita	0.25	11	23	55

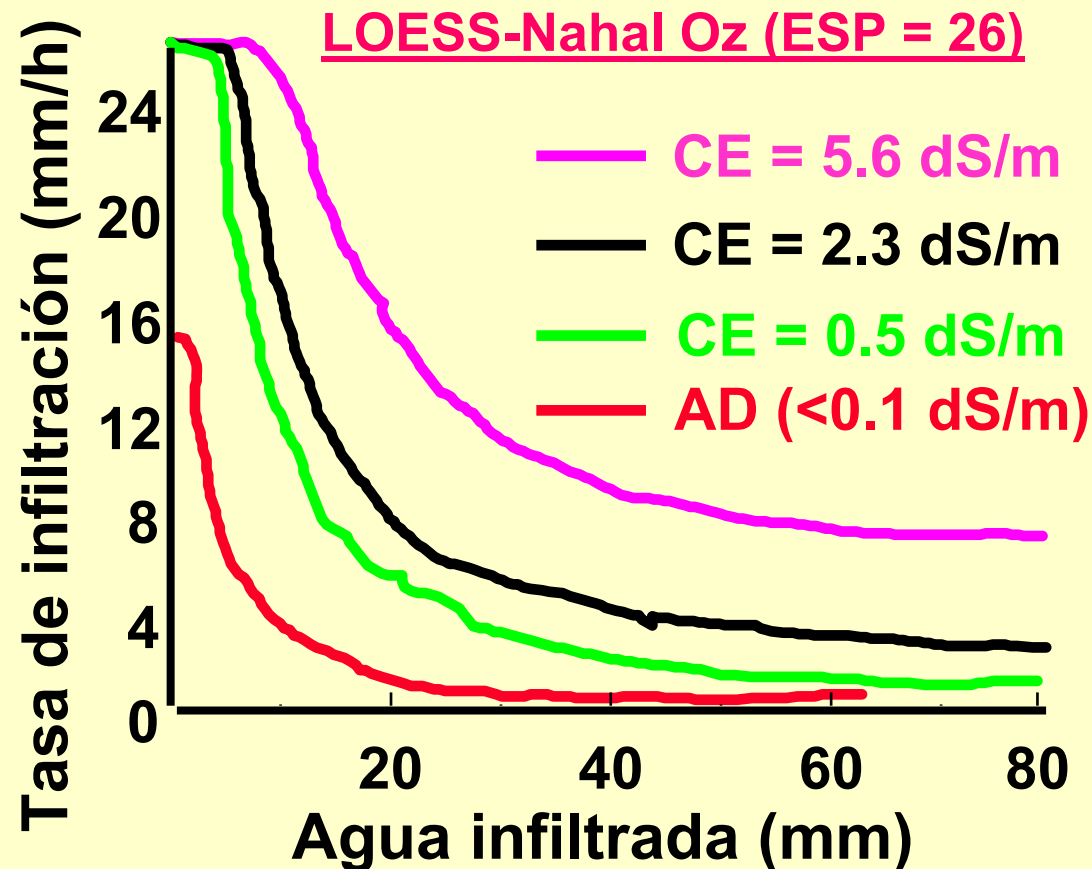
- ✓ **Conclusión:** excepto para RAS = 0, las ilitas son más sensibles a la dispersión que las montmorillonitas, especialmente a elevados valores de RAS.
- ✓ Las fuerzas de atracción Borde-Cara de las ilitas son menores que en otras arcillas debido al carácter irregular y aterrazado de sus superficies. Por ello se necesita mayor concentración de sales para flocularlas (mayor VF)

Efecto del pH sobre la dispersión de arcillas



Efecto de la CE sobre la tasa de Infiltración

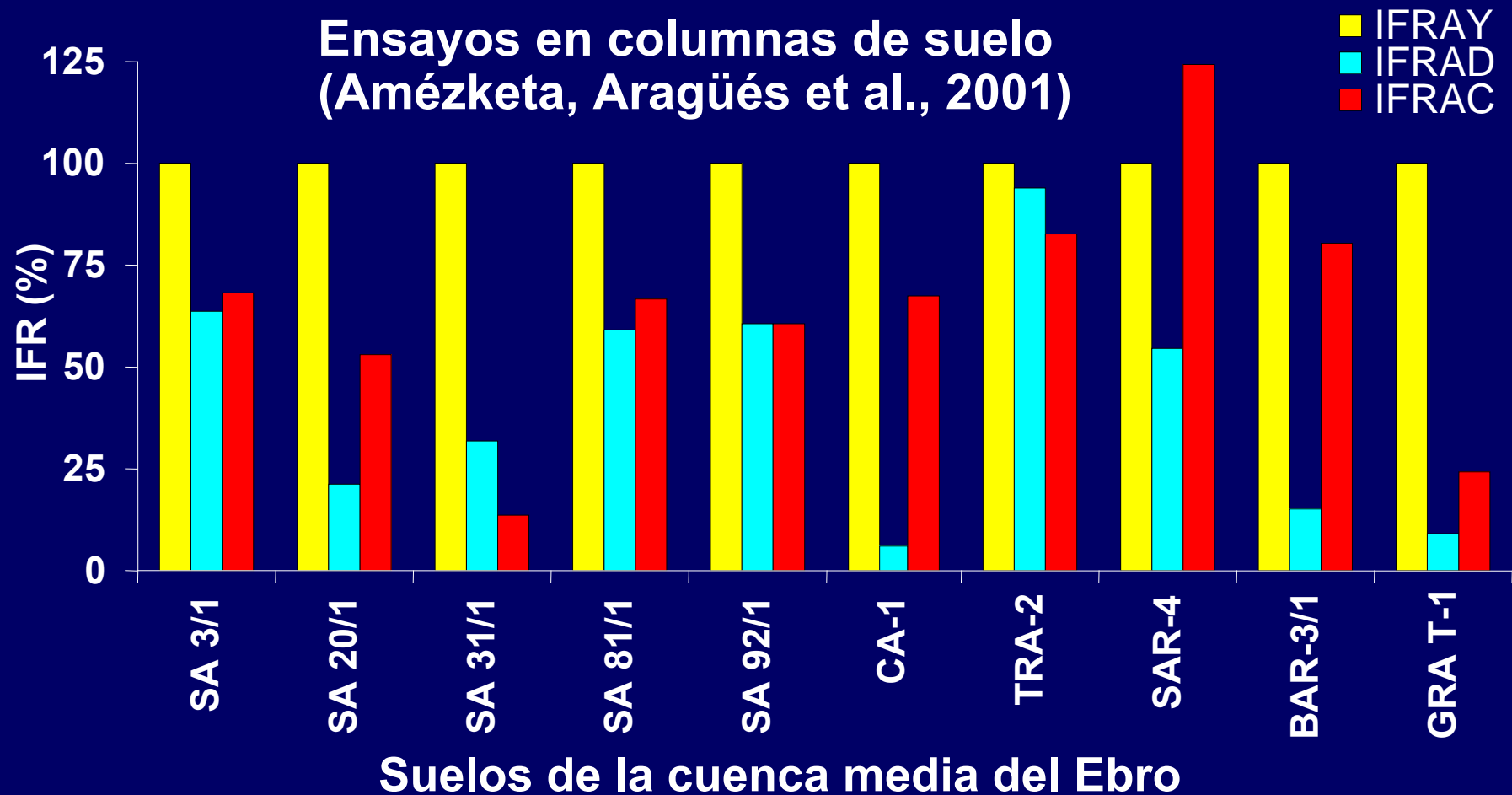
Agassi et al. (1981)



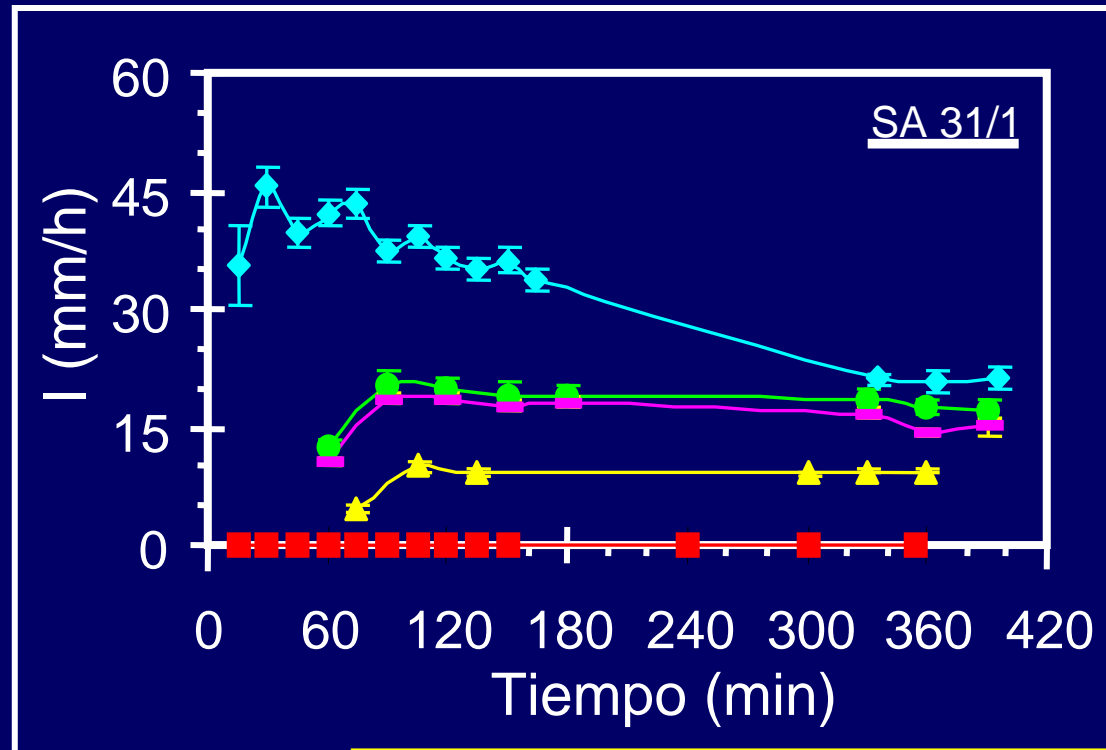
- ✓ La tasa de infiltración del suelo sódico Nahal desciende significativamente conforme menor es la CE del agua de riego aplicada. Ensayo en simulador de lluvia

Susceptibilidad de los suelos a dispersión química: Efecto de la calidad del agua sobre la infiltración

AY = agua saturada en yeso; AD = agua destilada; AC = agua canal
IFR = infiltración relativa a la obtenida con AY (100%)



Ejemplo de la prevención de encostramiento en un suelo salino-sódico (SA 31/1) lavado con agua destilada utilizando varias enmiendas químicas aplicadas en la superficie (dosis equivalentes a 5 t/ha de yeso puro)

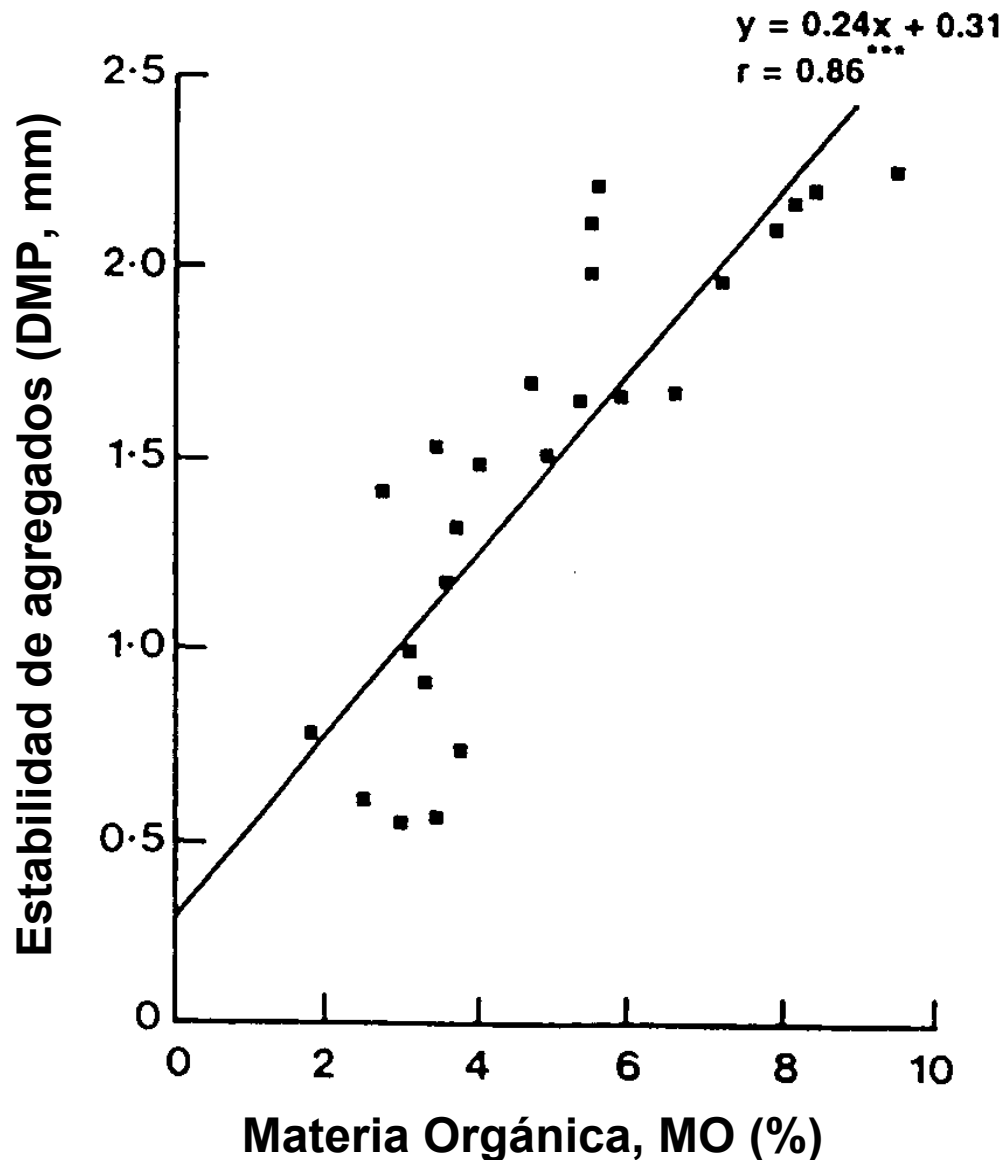


**Amézketa y Aragüés
(2004)**

- ▲ Lactoyeso
- ◆ Ac. sulfúrico
- Carboyeso
- Yeso de mina
- Control

I_{final} control = 0.0 mm/h (a)
I_{final} lactoyeso = 9.4 mm/h (b)
I_{final} carboyeso = 15.0 mm/h (c)
I_{final} yeso de mina = 17.3 mm/h (c)
I_{final} ac. sulfúrico = 21.2 mm/h (d)

Efecto de la Materia Orgánica (MO) sobre la estabilidad de los agregados del suelo



✓ Efecto estabilizante de MO:

- Efecto transitorio de polisacáridos uniendo microagregados.
- Efecto persistente de polímeros y compuestos aromáticos uniendo microagregados.
- Efecto temporal de raíces e hifas de hongos estabilizando macroagregados.
- La MO forma una capa hidrofóbica alrededor de los agregados, ↓ velocidad de humectación, y por lo tanto ↓ susceptibilidad a desagregación.

En síntesis, LA Estabilidad Estructural de los suelos **aumenta** conforme:

- ✓ **MAYOR** es la salinidad (CE)
- ✓ **MENOR** es la sodicidad (RAS)
- ✓ **MENOR** es el pH
- ✓ **MENOR** es la velocidad de humectación del suelo
- ✓ **MAYOR** es el contenido de MO/biomasa microbiana
- ✓ **MENOR** es la energía cinética del agua de riego:
 - goteo < inundación < surcos < aspersión
 - suelo cubierto (acolchado) < suelo desnudo